

(19)



(11)

EP 4 095 523 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.11.2022 Patentblatt 2022/48

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G01N 23/207^(2018.01) G01N 23/20025^(2018.01)

(21) Anmeldenummer: **22175465.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G01N 23/207; G01N 23/20025; G01N 2223/317

(22) Anmeldetag: **25.05.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Josef, Gautsch**
8044 Graz (AT)
• **Gartler, Helmut**
8141 Premstätten (AT)

(74) Vertreter: **Dilg, Haeusler, Schindelmann**
Patentanwalts-gesellschaft mbH
Leonrodstraße 58
80636 München (DE)

(30) Priorität: **27.05.2021 AT 504242021**

(71) Anmelder: **Anton Paar GmbH**
8054 Graz (AT)

(54) RÖNTGENUNTERSUCHUNGSVORRICHTUNG

(57) Bereitgestellt ist eine Vorrichtung (1) zur Untersuchung einer Probe (10) mittels Röntgenstrahlung, aufweisend: ein Strahlungserzeugungssystem (2) zum Erzeugen von primärer Strahlung (3); einen ersten Goniometerarm (4), an dem das Strahlungserzeugungssystem (2) montiert ist und der um eine Goniometerachse (5) verschwenkbar ist; ein Detektionssystem (6), das zum Detektieren von von der Probe ausgehender sekundärer Strahlung (7) ausgebildet ist; einen zweiten Goniometerarm (8), an dem das Detektionssystem (6) montiert ist und der um die Goniometerachse (5) verschwenkbar ist; eine evakuierbare Probenkammer (9), innerhalb derer die Probe (10) in einem einen Teil der Goniometerachse

umfassenden Probenbereich (11) anordenbar ist, wobei die Probenkammer (9) mittels einer Probenkammerwand (12) begrenzt ist, die einen für die primäre Strahlung (3) durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich (13) aufweist, um zu ermöglichen, dass die primäre Strahlung (3) in die Probenkammer (9) hinein eindringen kann und in den Probenbereich (11) unter verschiedenen Einfallswinkeln (θ_{ein}) treffen kann; wobei die Probenkammer (9) in einem Detektionsstrahlengang (14) eine erste Öffnung (15) aufweist, bei der die Probenkammer (9) und das Detektionssystem (6) vakuumdicht verbindbar sind, sodass der Detektionsstrahlengang (14) evakuierbar ist.

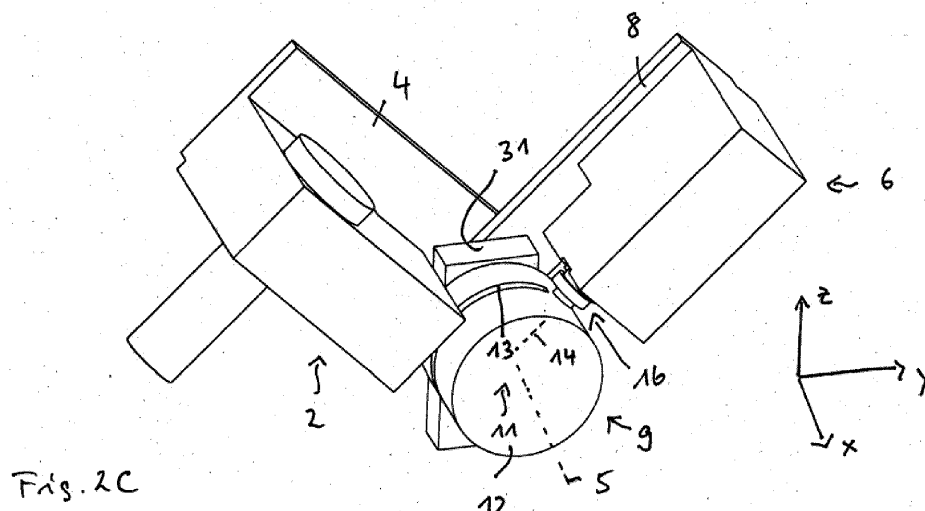


Fig. 2C

EP 4 095 523 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung und betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Apparaturen zum Untersuchen verschiedener Proben mittels Röntgenstrahlung sind aus dem Stand der Technik bekannt.

[0003] Das Dokument US 4,263,510 offenbart einen kombinierten Röntgenbeugungs- und Fluoreszenz-Spektroskopieapparat mit einer umgebungsmäßig steuerbaren Kammer. Benutzung einer umgebungsmäßig steuerbaren Kammer kann die Empfindlichkeit erhöhen, so dass Elemente mit niedrigen Ordnungszahlen in einer verbesserten Weise vermessen werden können. Der Apparat weist eine relativ hohe Anzahl von Dichtungselementen auf und hat eine hohe Komplexität. Ferner ist der Bereich vermessbarer Streuwinkel begrenzt.

[0004] Das Dokument US 2017/0356862 A1 offenbart eine Messkammer für ein kompaktes Goniometer in einem Röntgenspektrometer. Ein erster Goniometerarm hält einen Analysatorkristall und ein zweiter Goniometerarm hält einen Röntgendetektor. Die Messkammer umfasst eine Eingangsöffnung zum Eintritt von Röntgenfluoreszenzstrahlung in die Messkammer. Die Messkammer ist dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Lagerblock zum Aufnehmen und Halten beider Goniometerarme in einer konzentrischen und drehbaren Weise aufweist. Die Vorrichtung ist jedoch sehr voluminös und sowohl der Detektor als auch die Probe drehen sich während einer Messung. Für bestimmte Probentypen ist jedoch die Drehung der Probe während der Messung nachteilhaft und kann Messergebnisse verfälschen.

[0005] Es ist somit eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung bereitzustellen, wobei der messbare Streuwinkelbereich relativ groß ist bzw. ausreichend groß ist, wobei die Vorrichtung kompakt und insbesondere aus wenigen Teilen zusammengesetzt ist und ferner ermöglicht ist, dass verschiedene Probentypen in zuverlässiger Weise vermessbar sind.

[0006] Es ist auch Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Röntgendiffraktometer mit einfach wechselbarer Vakuumkammer bereitzustellen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0007] Die Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst, wobei ein unabhängiger Anspruch auf die Vorrichtung gerichtet ist und ein weiterer unabhängiger Anspruch auf ein Herstellungsverfahren

zum Herstellen der Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung gerichtet ist. Die abhängigen Ansprüche spezifizieren besondere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0008] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung bereitgestellt, aufweisend ein Strahlungserzeugungssystem zum Erzeugen von primärer Strahlung; einen ersten Goniometerarm, an dem das Strahlungserzeugungssystem montiert ist und der um eine Goniometerachse verschwenkbar ist; ein Detektionssystem, das zum Detektieren von von der Probe ausgehender sekundärer Strahlung ausgebildet ist; einen zweiten Goniometerarm, an dem das Detektionssystem montiert ist und der um die Goniometerachse verschwenkbar ist; eine evakuierbare Probenkammer, innerhalb derer die Probe in einem einen Teil der Goniometerachse umfassenden Probenbereich anordenbar ist, wobei die Probenkammer mittels einer Probenkammerwand begrenzt ist, die einen für die primäre Strahlung durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich aufweist, um zu ermöglichen, dass die primäre Strahlung in die Probenkammer hinein eindringen kann und in den Probenbereich unter verschiedenen Einfallswinkeln treffen kann. Dabei weist die Probenkammer in einem Detektionsstrahlengang eine erste Öffnung auf, bei der die Probenkammer und das Detektionssystem vakuumdicht verbindbar sind, sodass der Detektionsstrahlengang evakuierbar ist.

[0009] Das Strahlungserzeugungssystem kann eine Röntgenröhre aufweisen, wobei Elektronen aus einer Glühwendel (Kathode) austreten und auf eine als Metallblock ausgeführte Anode treffen. Aufgrund der Abbremsung der Elektronen kann Bremsstrahlung erzeugt werden. Ferner können durch Elektronenstöße Elektronen aus den Schalen der Metallatome herausgeschlagen werden. Elektronen aus höheren Atomschalen fallen in die niederenergetischen Schalen zurück, wodurch charakteristische Röntgenstrahlung ausgesendet wird. Die Anode kann zum Beispiel Molybdän, Kupfer, Wolfram, Kobalt, Chrom oder eine Kombination davon aufweisen. Insbesondere kann die primäre Strahlung charakteristische Kupferlinien insbesondere Kupfer $K\alpha$ -Strahlung, Kobalt $K\alpha$ -Strahlung oder Chrom $K\alpha$ -Strahlung umfassen. Die Wellenlänge der primären Strahlung kann zum Beispiel zwischen 10 nm und 5 pm liegen. Die Energie der primären Strahlung kann zum Beispiel zwischen 1 keV bis 50 keV liegen.

[0010] Das Strahlungserzeugungssystem kann eine Strahlformungsoptik und/oder ein oder mehrere Filter aufweisen. Das Strahlungserzeugungssystem kann ausgebildet sein, einen Strahl primärer Strahlung von einer gewünschten Querschnittsgröße, einem gewünschten Querschnittsprofil und/oder gewünschter Wellenlänge bzw. gewünschtem Wellenlängenbereich zu erzeugen.

[0011] Das Strahlungserzeugungssystem kann insbesondere unter Umgebungsdruck, d.h. normalem Atmosphärendruck, betrieben werden, somit in einem Druck-

bereich z.B. zwischen 950 mbar und 1050 mbar betrieben werden. Das Strahlungserzeugungssystem kann an dem ersten Goniometer derart montiert sein, dass die erzeugte primäre Strahlung für jeden eingestellten Schwenkwinkel auf den Probenbereich innerhalb der Goniometerachse gerichtet ist. Somit können verschiedene Einfallswinkel der primären Strahlung auf eine Probe eingestellt werden, die in dem Probenbereich (einem Bereich der Goniometerachse umfassen) angeordnet werden kann.

[0012] Die sekundäre Strahlung kann im Wesentlichen dieselbe Wellenlänge bzw. denselben Wellenlängenbereich aufweisen wie die primäre Strahlung, kann somit insbesondere durch elastische Wechselwirkung der primären Strahlung mit der Probe gebildet sein und kann somit Streustrahlung, insbesondere elastische Streustrahlung umfassen. In anderen Ausführungsformen kann die sekundäre Strahlung andere Wellenlängen bzw. andere Wellenlängenbereiche bzw. einen anderen Wellenlängenbereich aufweisen, als derjenige, der die primäre Strahlung charakterisiert. Durch Bestrahlen der Probe mit der primären Strahlung kann z.B. Röntgenfluoreszenz angeregt werden, so dass die sekundäre Strahlung zumindest teilweise Fluoreszenzstrahlung umfasst, die von einer Probe ausgehen kann, bzw. bestrahlt wird.

[0013] Das Detektionssystem kann im einfachsten Falle zum Beispiel durch einen Punktdetektor ausgeführt sein oder auch durch zweidimensionale oder dreidimensionale Felder von Detektionselementen, welche individuell auslesbar sind. Mittels Verschwenkens des zweiten Goniometers kann das Detektionssystem derart verschwenkbar sein, dass aus dem Probenbereich herrührende sekundäre Strahlung, die unter verschiedenen Ausfallswinkeln austritt, mittels des Detektionssystems detektierbar ist. Somit ermöglicht die Vorrichtung einen Einfallswinkel der auf die Probe auftreffenden primären Strahlung in einem bestimmten Bereich einzustellen und kann weiterhin ermöglichen, sekundäre Strahlung, welche in einem bestimmten Bereich von Ausfallswinkeln aus dem Probenbereich austritt, zu detektieren.

[0014] Die Probenkammer ist in dem Sinne evakuierbar, als innerhalb der Probenkammer ein Druck erreicht werden kann, welcher niedriger als ein Umgebungsdruck oder Atmosphärendruck ist, insbesondere ein Druck von zum Beispiel weniger als 100 mbar oder weniger als 50 mbar oder weniger als 30 mbar oder sogar weniger als 10 mbar. Der erniedrigte Druck innerhalb der Probenkammer entspricht einer erniedrigten Luftdichte relativ zu einer Atmosphärenluftdichte. Aufgrund der verminderten Luftdichte ist eine Absorption von Röntgenstrahlung bzw. sekundärer Strahlung, welche von der Probe ausgeht und zur Detektion in das Detektionssystem fällt, vermindert. Insbesondere kann entlang des gesamten Detektionsstrahlenganges, d.h. zwischen der in dem Probenbereich angeordneten Probe und einem Sensor oder einem Detektionselement des Detektionssystems ein Vakuum herrschen, das im Wesentlichen dem Vakuum innerhalb der Probenkammer entspricht oder gleicht.

Aufgrund der damit erreichten verminderten Absorption der sekundären Strahlung kann eine Messempfindlichkeit der Vorrichtung im Vergleich zum Stand der Technik verbessert sein.

[0015] Die Vorrichtung kann ferner ein Justiersystem umfassen, um die Probe (welche z.B. in einem Probenhalter aufgenommen ist oder mittels eines Probenhalters gehalten ist), in einer vorbestimmten oder gewünschten Weise räumlich relativ zu der Goniometerachse bzw. dem Probenbereich anzuordnen. Zum Beispiel kann eine Oberfläche der Probe oder ein zentraler Bereich der Probe adjustiert werden, dass der Oberflächenbereich bzw. der zentrale Bereich der Probe in einem Teil der Goniometerachse zu liegen kommt. Auf diesem Teil der Goniometerachse (insbesondere Probenbereich) kann auch die primäre Strahlung für alle verschiedenen Einfallswinkel gerichtet sein. Ebenfalls kann für alle verschiedenen Verschwenkungswinkel des Detektionssystems die aus diesem Teil der Goniometerachse ausgehende oder herrührende sekundäre Strahlung von dem Detektionssystem detektierbar sein.

[0016] Die Probenkammer kann einen Probeninnenraum aufweisen, in welchem während der Messung die Probe angeordnet ist. Die Probe kann während der Messung eine fixe Lage haben und kann an einer Basiskomponente (z.B. über eine Probenhalteaufnahme und/oder Probenhalter) befestigt bzw. gehalten sein. Die Probenkammer kann relativ zu der Basiskomponente bzw. der Probenhalteaufnahme bzw. dem Probenhalter beweglich sein, insbesondere drehbar sein, insbesondere um die Goniometerachse drehbar sein. Um einen gewünschten Ausfallswinkel zur Detektion einstellen zu können, kann die Probenkammer zusammen mit dem Detektionssystem verschwenkt werden. Die Probenkammer kann somit synchron mit dem Detektionssystem, wenn dieses mit der Probenkammer verbunden ist, verschwenkt bzw. rotiert werden. Bei Verschwenken des Detektionssystems mittels Verschwenkens des zweiten Goniometerarms (z.B. mittels eines Motors oder Aktuators) kann über ein Verbindungssystem ein Drehmoment auf die Probenkammer ausgeübt werden, um die Probenkammer im Wesentlichen synchron mit dem Detektionssystem zu verschwenken.

[0017] Sowohl das Strahlungserzeugungssystem als auch das Detektionssystem kann mittels hochpräzise gelagerter Goniometerarme in hochpräziser Weise einen gewünschten Einfallswinkel bzw. Ausfallswinkel einzustellen ausgebildet sein. Zum Beispiel kann Einfallswinkel und/oder Ausfallswinkel mit einer Genauigkeit von zum Beispiel 1/100 Grad oder besser als 1/100 Grad oder 1/1000 Grad oder besser als 1/1000 Grad oder 1/1000 Grad bis ein 1/10.000 Grad einstellbar sein.

[0018] Die Probenkammer kann während einer Messung um die Goniometerachse verschwenkbar sein, welche insbesondere konzentrisch zu einer unten im Detail beschriebenen zweiten Öffnung angeordnet sein kann. Auch wenn es besonders vorteilhaft ist, eine Messung mit innerhalb der Probenkammer befindlichen Probe und

bei evakuierter Probenkammer vorzunehmen, kann eine Messung auch in bestimmten Fällen ohne eine Probenkammer durchgeführt werden. In diesem Falle muss der Detektionsstrahlengang nicht notwendigerweise evakuiert sein.

[0019] Die Probenkammer bzw. die Probenkammerwand kann im Wesentlichen aus Metall, z.B. Stahl, gefertigt sein. Der Durchstrahlungsbereich kann erlauben, dass außerhalb der Probenkammer erzeugte primäre Strahlung in einen Innenraum der Probenkammer einfällt, insbesondere ermöglichen, dass die primäre Strahlung unter verschiedenen Einfallswinkeln auf den Probenbereich innerhalb der Probenkammer einfällt bzw. auftrifft. Der Durchstrahlungsbereich kann aus einem oder mehreren Materialien gefertigt sein, welche für die primäre Strahlung durchlässig sind bzw. eine geringe Abschwächung bewirken. Für die primäre Strahlung durchlässig kann bedeuten, dass zum Beispiel zwischen 50% und 80% einer Intensität stromaufwärts des Durchstrahlungsbereichs nach stromabwärts des Durchstrahlungsbereichs passieren können. Der Durchstrahlungsbereich kann im Wesentlichen dicht für Luft sein und gegenüber zum Beispiel anderen Materialien der Probenkammerwand mittels Dichtungselementen, z.B. elastischen Dichtungselementen wie Gummidichtungen abgedichtet sein. Die Probenkammer kann optional auch ein Sichtfenster zum Beispiel an einer Stirnseite aufweisen, was einem Benutzer ermöglicht, den Probenbereich bzw. die Probe innerhalb der Probenkammer zu inspizieren. Die Probenkammer kann zum Beispiel auch eine Tür umfassen, um zum Beispiel die Probe in die Probenkammer einzubringen zu können. Damit kann eine kompakte Vorrichtung bereitgestellt werden, wobei eine Vermessung einer Probe mittels Röntgenstrahlung mit hoher Sensitivität und über einen großen Streuwinkelbereich durchgeführt werden kann.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung ferner ein Verbindungssystem auf, das zum lösbaren vakuumdichten, insbesondere elastischen oder starren, Verbinden der Probenkammer mit dem Detektionssystem bei der ersten Öffnung ausgebildet ist, wobei das Verbindungssystem zumindest ein erstes Dichtungselement aufweist, wobei die erste Öffnung insbesondere kreisförmig oder rechteckig ist.

[0021] Das lösbare Verbinden mittels des Verbindungssystems ermöglicht, die Probenkammer von dem Detektionssystem zu trennen. Somit kann auch ermöglicht sein, dass die Probenkammer entfernt werden kann, so dass zum Beispiel auch der Probenbereich einem Umgebungsdruck ausgesetzt sein kann. Das Verbindungssystem kann ein oder mehrere Teile umfassen. Das Verbindungssystem kann zum Beispiel einen Vakuumflansch umfassen und/oder andere Elemente. Auch wenn die Probenkammer mittels des Verbindungssystems mit dem Detektionssystem verbunden ist, kann eine gewisse Flexibilität bzw. Beweglichkeit der Probenkammer relativ zu dem Detektionssystem ermöglicht sein,

während jedoch eine vakuumdichte Verbindung sichergestellt sein kann. Aufgrund der (geringfügigen) relativen Beweglichkeit des Detektionssystems relativ zu der Probenkammer kann eine Überbestimmtheit des mechanischen Systems vermieden sein, insbesondere dann, wenn das Detektionssystem mittels des zweiten Goniometerarms durch ein hochpräzises Lager bzw. eine hochgenaue Beweglichkeit oder Verschwenkbarkeit gekennzeichnet ist. Trotz einer elastischen Verbindung zwischen der Probenkammer und dem Detektionssystem kann bei Verschwenken des Detektionssystems ein ausreichendes Drehmoment auf die Probenkammer ausgeübt werden, so dass die Probenkammer synchron mit dem Detektionssystem bei Verschwenken des Detektionssystems verdreht bzw. verschwenkt wird.

[0022] Das erste Dichtungselement kann eine oder mehrere Dichtungen umfassen, um eine vakuumdichte Verbindung zu ermöglichen.

[0023] Bei der ersten Öffnung kann zum Beispiel statt ein Vakuumflansch verbunden sein oder eine (elastisch verbundene) Hülse mit einem Flansch vorgesehen sein. An dem Flansch kann zum Beispiel das Detektionssystem elastisch bzw. vakuumdicht verbunden sein. Das Verbindungssystem kann zum Beispiel im Wesentlichen Zylindersymmetrie aufweisen. Das Verbindungssystem kann derart angeordnet sein, dass die sekundäre Strahlung entlang einer Längsachse des Verbindungssystems propagieren kann und zwar nach außerhalb der Probenkammer auf ein Sensorelement des Detektionssystems.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verbindungssystem ein Außengewinde und eine Überwurfmutter auf, wobei das zumindest eine erste Dichtungselement eine ringförmige Dichtung aus elastischem Material aufweist, die mittels der Überwurfmutter zur Abdichtung verpressbar ist, insbesondere zwischen gegenüberliegenden Stirnflächen.

[0025] Das Außengewinde kann ein Element des Detektionssystems sein oder kann ein Element zum Beispiel einer Hülse (oder eines Flansches) sein, welche innerhalb der ersten Öffnung angeordnet sein kann und vakuumdicht angeordnet sein kann. Die Überwurfmutter kann ebenfalls entweder ein Element des Detektionssystems sein oder zum Beispiel ein Element der oben genannten Hülse (oder eines Flansches) sein. Das Außengewinde zusammen mit der Überwurfmutter kann zum Beispiel als ein Bajonettverschluss ausgeführt sein. Dazu kann das Außengewinde ein spezielles Gewinde eines Bajonettverschlusses aufweisen. Durch Verschrauben der Überwurfmutter auf dem Außengewinde kann das Detektionssystem mit der Probenkammer lösbar und gleichzeitig vakuumdicht verbunden werden. Die ringförmige Dichtung des ersten Dichtungselements kann zum Beispiel zwischen einer Stirnfläche eines Elements des Detektionssystems und einer Stirnfläche eines Vakuumflansches zum Beispiel oder einer Hülse angeordnet und zusammengepresst sein, um eine Abdichtung zu gewährleisten.

[0026] Damit kann die Probenkammer auf einfache

und kostengünstige Weise mit dem Detektionssystem lösbar verbunden werden.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verbindungssystem eine Hülse auf, die innerhalb der ersten Öffnung angeordnet ist, wobei das zumindest eine erste Dichtungselement eine weitere ringförmige Dichtung aus elastischem Material aufweist, die zwischen einer Innenoberfläche einer ersten Öffnung begrenzenden Bereichs der Probenkammerwand und einem Außenflächenbereich der Hülse angeordnet ist, wobei die Hülse insbesondere mittels der auf das Außengewinde aufgeschraubten Überwurfmutter mit dem Detektionssystem verbunden ist.

[0028] Die Probenkammer und das Detektionssystem können zum Beispiel auch durch Verschrauben von Flanschelementen verbindbar sein oder verbunden werden.

[0029] Eine Längsachse oder eine Achse der Hülse kann im Wesentlichen einer Propagationsrichtung der sekundären Strahlung entsprechen, welche mittels des Detektors detektiert wird, wenn ein bestimmter Ausfallswinkel eingestellt ist. Die weitere ringförmige Dichtung zwischen der Innenoberfläche einer ersten Öffnung begrenzenden Bereichs der Probenkammerwand und einem Außenflächenbereich der Hülse kann eine vakuumdichte Verbindung schaffen, kann jedoch eine gewisse relative Beweglichkeit oder Elastizität bzw. Toleranz zwischen Probenkammer und Detektionssystem ermöglichen. Damit kann ein Toleranzausgleich ermöglicht sein, um insbesondere mechanische Belastungen zu beschränken.

[0030] Die ringförmige Dichtung des ersten Dichtungselements kann eine Beweglichkeitstoleranz im Wesentlichen in Axialrichtung der Hülse ermöglichen. Die weitere ringförmige Dichtung des ersten Dichtungselements kann demgegenüber eine Beweglichkeitstoleranz zwischen Detektionssystem und Probenkammer in einer Richtung senkrecht zu der Axialrichtung der Hülse ermöglichen, insbesondere in einer Richtung, in der ein Drehmoment wirkt, wenn der Detektor zur Änderung des registrierbaren Ausfallswinkels verschwenkt wird, was zu einem im Wesentlichen synchronen Mitführen der Probenkammer führt.

[0031] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Durchstrahlungsbereich einen Öffnungswinkel von zwischen 0° bis 165° , insbesondere zwischen 100° bis 165° , ferner insbesondere zwischen 120° bis 165° , noch ferner insbesondere zwischen 140° bis 165° auf und/oder wobei der Durchstrahlungsbereich aus Röntgenstrahlung durchlässigem Material, insbesondere Kunststoff und/oder Beryllium und/oder Leichtmetall und/oder Graphit und/oder Aluminium aufweisend, ausgebildet ist, wobei der Durchstrahlungsbereich insbesondere als ein Segment einer Zylindermantelfläche gebildet ist, wobei eine Zylindersymmetrieachse im Wesentlichen in der Goniometerachse liegt.

[0032] Der Öffnungswinkel des Durchstrahlungsbereichs kann die Winkelausdehnung des Durchstrahlungsbereichs messen, insbesondere die Winkelaus-

dehnung des Durchstrahlungsbereichs bezüglich der Goniometerachse. Wird zum Beispiel in einer Bragg-Brentano-Geometrie gemessen, so kann der Öffnungswinkel des Durchstrahlungsbereichs zum Beispiel dem Doppelten des maximalen Einfallswinkels entsprechen, was ebenfalls dem Doppelten des maximalen Ausfallswinkels entsprechen kann. In der Bragg-Brentano-Geometrie werden sowohl das Strahlungserzeugungssystem als auch das Detektionssystem gegensinnig um den gleichen Winkel aus einer Nullposition verschwenkt.

[0033] Der Durchstrahlungsbereich kann zum Beispiel als ein Kreisbogensegment ausgebildet sein, wobei das Bogensegment eine Winkelausdehnung zum Beispiel zwischen 0° bis 165° insbesondere 100° bis 165° hat. Bei einer Winkelausdehnung (bzw.

[0034] Öffnungswinkel) zum Beispiel von 140° kann in der Bragg-Brentano-Geometrie ein Einfallswinkel von 70° und auch ein Ausfallswinkel von 70° erreicht werden.

[0035] Ist die Winkelausdehnung bzw. der Öffnungswinkel sogar 165° , so kann zum Beispiel in der Bragg-Brentano-Geometrie ein Einfallswinkel von $82,5^\circ$ und auch ein Ausfallswinkel von $82,5^\circ$ erreicht werden. Damit ist eine genaue Vermessung der Probe ermöglicht.

[0036] Der Durchstrahlungsbereich kann aus einem anderen Material gefertigt sein als andere Teile der Probenkammerwand, welche z.B. aus Stahl gefertigt sein können. Zwischen dem Material des Durchstrahlungsbereichs und dem Material der Probenkammerwand können Dichtungselemente z.B. in Form von Dichtungslippen vorgesehen sein.

[0037] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung zumindest eines der Folgenden auf: eine Probenhalteraufnahme, insbesondere höhenverstellbar, die ausgebildet ist, einen Probenhalter aufzunehmen; und/oder einen Probenhalter, der mittels der Probenhalteraufnahme oder einer feststehenden Basiskomponente halterbar ist und der ausgebildet und angeordnet ist, um die Probe in dem Probenbereich zu halten.

[0038] Die Probenhalteraufnahme kann ausgebildet sein, verschiedene Typen von Probenhaltern aufzunehmen, um diese wiederum während der Messung in einer fixen Position und Orientierung zu halten. Die Probenhalteraufnahme kann eine Längsachse aufweisen, welche im Wesentlichen entlang oder kollinear mit der Goniometerachse verläuft. Eine Längsrichtung der Probenhalteraufnahme kann in ihrer Position fein justierbar sein und/oder grob justierbar sein, um zum Beispiel eine Höhe einzustellen oder eine Einstellung in einer anderen lateralen Richtung zu ermöglichen. Die Probenhalteraufnahme wiederum kann ein Teil einer Basiskomponente sein oder kann an einer Basiskomponente, insbesondere feststehenden Basiskomponente, montiert sein.

[0039] Es können ein oder mehrere Probenhalter bereitgestellt sein, insbesondere um verschiedene Typen von Proben zu unterstützen. Der Probenhalter kann zum Beispiel eine Kapillare umfassen, um eine flüssige Probe zu beinhalten. Die Probe kann ein Feststoff, ein Pulver,

polykristallin, kristallin sein, kann eine Flüssigkeit und/oder kann einen Einkristall umfassen. Der Probenhalter selbst kann, muss jedoch nicht höhenverstellbar bzw. lateral verstellbar sein. Der Probenhalter kann zum Beispiel einen Probenbehälter umfassen (beispielsweise für eine Flüssigkeit und/oder ein Pulver) oder kann zum Beispiel ein Substrat oder ein flächiges Element umfassen, auf dem eine feste Probe fixiert werden kann. Somit sind verschiedene Probentypen unterstützt. Insbesondere kann während der Messung die Probenhalteraufnahme bzw. der Probenhalter in einer fixen Positionierung und Orientierung gehalten werden.

[0040] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Probenkammer eine zweite Öffnung, durch die sich eine feststehende Basiskomponente und/oder die Probenhalteraufnahme und/oder der Probenhalter zumindest teilweise erstreckt, wobei die Vorrichtung ferner zumindest ein zweites Dichtungselement, insbesondere ringförmig, aus elastischem Material aufweist, das zwischen einem äußeren Oberflächenbereich der Basiskomponente und/oder der Probenhalteraufnahme und/oder des Probenhalters und einem inneren die zweite Öffnung begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand zum Abdichten angeordnet ist, wobei die Probenkammer insbesondere abnehmbar ist.

[0041] Über die zweite Öffnung kann die Probenkammer drehbar (und vakuumdicht) mit der feststehenden Basiskomponente und/oder der Probenhalteraufnahme verbunden werden. Eine Probenhalteraufnahme kann zum Beispiel teilweise oder vollständig durch die zweite Öffnung in die Probenkammer hineinragen, so dass die Probenhalteraufnahme oder der Probenhalter in dem Probenbereich angeordnet ist, bzw. derart, dass die auf oder in dem Probenhalter befindliche Probe in dem Probenbereich gehalten ist.

[0042] Das zweite Dichtungselement kann im Wesentlichen konzentrisch zu der Goniometerachse angeordnet werden und kann eine vakuumdichte Verbindung zwischen der Basiskomponente und/oder der Probenhalteraufnahme und/oder Probenhalter einerseits und der Vakuumkammer andererseits ermöglichen, wobei eine drehbare Verbindung bzw. Kopplung zwischen Probenkammer einerseits und der Basiskomponente bzw. der Probenhalteraufnahme bzw. dem Probenhalter erreicht ist. Bei Verschwenkung der Probenkammer erfolgt eine Reibung zwischen dem inneren, die zweite Öffnung begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand und einer äußeren Oberfläche des zweiten Dichtungselements. In einem Kontaktbereich kann zum Beispiel ein Schmiermittel, wie vakuumtaugliches Fett, vorgesehen sein, um einen Reibungswiderstand zu vermindern bzw. auch einen Abrieb zu reduzieren. Das zweite Dichtungselement kann eine vakuumdichte Verbindung und weiterhin eine Drehbarkeit der Probenkammer relativ zu der Basiskomponente ermöglichen. Die Probenkammer kann abnehmbar sein, um zum Beispiel einen Probenhalter oder eine Probe auf der Probenhalterauf-

nahme bzw. in dem Probenhalter oder an dem Probenhalter zu montieren.

[0043] Die zweite Öffnung kann zum Beispiel kreisförmig sein. Ebenso kann das zweite Dichtungselement kreisförmig und im Wesentlichen konzentrisch zu der Goniometerachse angeordnet sein. Damit ist eine Abdichtung gegen Lufteintritt ermöglicht bzw. zusätzlich eine Verdrehbarkeit der Probenkammer relativ zur feststehenden Basiskomponente.

[0044] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die ringförmige Dichtung und/oder die weitere ringförmige Dichtung des zumindest einen ersten Dichtungselements und/oder das zweite Dichtungselement konzentrisch angeordnet und kreisförmig ist und/oder zumindest eines der Folgenden aufweist: eine Lippendichtung, einen O-Ring, eine Wellendichtung, einen Gleitring. Das zweite Dichtungselement kann insbesondere konzentrisch zu der Goniometerachse angeordnet sein. Damit sind verschiedene Typen von Dichtungselementen unterstützt, die je nach spezifischen Anforderungen ausgewählt werden können.

[0045] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung ferner ein Lager auf, das zum drehbaren Lagern der Probenkammer relativ zu der Probenhalteraufnahme und/oder Probenhalter und/oder einer feststehenden Basiskomponente ausgebildet ist, wobei das Lager insbesondere außerhalb der Probenkammer dem Umgebungsdruck ausgesetzt ist.

[0046] Das Lager kann zum Beispiel ein Kugellager, ein Gleitlager, ein Rollenlager oder eine Kombination davon umfassen. Das Lager kann die Probenkammer in einer definierten geometrischen Lage halten und ermöglichen, dass die Probenkammer relativ zu der feststehenden Basiskomponente verdrehbar ist. In anderen Ausführungsformen braucht die Vorrichtung kein solches Lager aufzuweisen. Wenn ein Lager vorgesehen ist, kann jedoch eine Abdichtung verbessert werden, da das zweite Dichtungselement nicht ausschließlich für die beabsichtigte oder gewünschte Führung der Probenkammer verwendet wird. Eine Führung der Verschwenkung der Probenkammer wird vielmehr durch das Lager bewirkt. Insbesondere kann durch das Lager somit erreicht werden, dass die Probenkammer bzw. insbesondere die zweite Öffnung, während des Verschwenkens stets konzentrisch zur Goniometerachse positioniert bleibt.

[0047] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das zweite Dichtungselement zwischen dem Lager und einem Probenkammerinnenraum angeordnet. Das Lager kann somit dem Umgebungsdruck ausgesetzt sein und außerhalb der Probenkammer angeordnet sein. Das Lager kann geschmiert sein, ohne das Vakuum im Innenraum der Probenkammer zu verunreinigen bzw. zu verschlechtern. Somit können auch herkömmliche Lager unterstützt sein.

[0048] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung ferner auf: einen ersten Aktuator, der zum Verschwenken des Strahlungserzeugungssystems mittels des ersten Goniometerarms

ausgebildet ist; einen zweiten Aktuator, der zum Verschwenken des Detektionssystems zusammen mit der damit verbundenen Probenkammer mittels des zweiten Goniometerarms ausgebildet ist,

wobei der erste Aktuator und/oder der zweite Aktuator außerhalb der Probenkammer angeordnet ist.

[0049] Die Aktuatoren können insbesondere Elektromotoren umfassen, welche zum Beispiel auch ein Getriebe umfassen können. Der zweite Aktuator kann in seinem aufbringbaren Drehmoment derart bemessen sein, dass er nicht nur befähigt ist, das Detektionssystem mittels des Goniometerarms zu verschwenken, sondern auch zusammen mit dem Detektionssystem die damit verbundene Probenkammer zu verschwenken. Der zweite Aktuator kann über den Goniometerarm ein entsprechendes Drehmoment auf das Detektionssystem ausüben, welches aufgrund der Verbindung mit der Probenkammer ein Drehmoment auf die Probenkammer ausüben kann, so dass sich die Probenkammer synchron mit dem Detektionssystem verschwenkt bzw. verdreht, wenn der zweite Aktuator entsprechend angesteuert wird. Wenn die Aktuatoren außerhalb der Probenkammer angeordnet sind, können sie Umgebungsdruck ausgesetzt sein und können somit herkömmlich ausgeführt sein.

[0050] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Strahlungserzeugungssystem mittels Verschwenkens des ersten Goniometerarms um bis zu zwischen 60° und $82,5^\circ$, insbesondere bis zu zwischen 70° und $82,5^\circ$, aus einer Nullposition (0°) verschwenkbar und/oder wobei das Detektionssystem mittels Verschwenkens des zweiten Goniometerarms um bis zu zwischen 60° und $82,5^\circ$, insbesondere bis zu 70° und $82,5^\circ$, aus einer Nullposition (0°) entgegengesetzt zu einer Verschwenkrichtung des Strahlungserzeugungssystems verschwenkbar ist.

[0051] Somit können Einfallswinkel zum Beispiel zwischen 60° und $82,5^\circ$ und auch Ausfallswinkel zum Beispiel zwischen 60° und $82,5^\circ$ erreicht werden, um somit eine umfassende Vermessung einer Probe zu ermöglichen. Herkömmliche Apparaturen zur Vermessung von Proben mittels Röntgenstreuung können häufig nur kleinere Einfallswinkel bzw. Ausfallswinkel erreichen.

[0052] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Strahlungserzeugungssystem außerhalb der Probenkammer angeordnet und Umgebungsdruck ausgesetzt, und/oder wobei das Strahlungserzeugungssystem eine Strahlungsquelle und eine Optik aufweist, um die primäre Strahlung mit vorbestimmtem Wellenlängenbereich und/oder vorbestimmter Querschnittsgröße zu erzeugen.

[0053] Auch das Strahlungserzeugungssystem kann somit ein herkömmliches Strahlungserzeugungssystem sein. Die Vorrichtung kann ausgebildet sein, je nach Erfordernis, einen bestimmten Wellenlängenbereich oder eine bestimmte Querschnittsgröße und/oder auch Querschnittsprofil der primären Strahlung bereitzustellen. Damit sind verschiedene Messvarianten oder Messverfahren

unterstützt.

[0054] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung ferner mindestens einen Vakuumananschluss an der Probenkammer und/oder an dem Detektionssystem auf und/oder mindestens eine Vakuumpumpe, die ausgebildet ist, einen Druck von kleiner als 30 mbar innerhalb der Probenkammer und/oder dem Detektionsstrahlengang zu erzeugen.

[0055] Damit kann eine Evakuierung des Innenraums der Probenkammer in zuverlässiger Weise erreicht werden. Der Druck kann mittels der Vakuumpumpe zum Beispiel zwischen 2 mbar und 10 mbar innerhalb der Probenkammer erreichen oder auch zwischen 1 mbar bis 10 mbar erreichen. Als eine Vakuumpumpe kann zum Beispiel eine Membranpumpe eingesetzt werden.

[0056] Eine Detektorfläche eines oder mehrerer Detektorelemente des Detektionssystems kann als Teil des Detektionsstrahlenganges evakuiert sein. Insbesondere muss vor einer Detektorfläche des Detektionssystems kein Fenster vorgesehen sein. Auch eine Elektronik oder Auswerte- oder Ausleseelektronik des Detektionssystems kann evakuierbar sein.

[0057] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst das Detektionssystem eine Detektionsoptik und/oder ein Filter und einen Detektor, wobei das Filter in dem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, insbesondere bei der ersten Öffnung und/oder dem Befestigungselement.

[0058] Das Filter kann zum Beispiel vorgesehen sein, um unerwünschte Wellenlängen oder Strahlung unerwünschter Wellenlängen vor Auftreffen auf ein Detektionselement oder ein Sensorelement zu schwächen bzw. im Wesentlichen in der Intensität zu reduzieren zum Beispiel auf zwischen 0% und 10% der auf das Filter auftreffenden Intensität der jeweiligen Wellenlänge oder des jeweiligen Längenwellenbereiches. Das Filter kann zum Beispiel auch austauschbar sein, um eine anwendungsspezifische Filterung zu ermöglichen. Das Filter kann an irgendeiner Stelle innerhalb des Detektionsstrahlengangs angeordnet sein, zum Beispiel innerhalb der oben erwähnten Hülse oder in einem Eingangsbereich des Detektionssystems.

[0059] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Detektor des Detektionssystems ein zweidimensionales oder dreidimensionales Feld von Detektorelementen auf, die als Punktdetektionssystem oder Zeilendetektionssystem verwendet werden.

[0060] Die Detektorelemente können zum Beispiel CCD-Detektorelemente und/oder CMOS-Detektorelemente aufweisen. Eine Auswertesoftware oder Auswerteelektronik kann mehrere Detektorelemente derart verschalten bzw. ausgebildet sein, Intensitätssignale, welche von mehreren Detektorelementen herrühren, zu verrechnen, um zum Beispiel eine integrale registrierte Intensität zu ermitteln.

[0061] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Vorrichtung ferner eine Steuerung auf, die zur Durchführung einer Messung kommu-

nikativ mit dem Strahlungserzeugungssystem und/oder dem ersten Aktuator und/oder dem Detektionssystem und/oder dem zweiten Aktuator und/oder der Vakuumpumpe verbunden ist, um Steuersignale zu übertragen und/oder Messsignale zu erhalten.

[0062] Die Steuerung kann zum Beispiel in Software und/oder Hardware implementiert werden. Es können verschiedene Programme vorgesehen sein und vorhanden sein, um verschiedene Messverfahren durchführen zu können. Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Vorrichtung ausgebildet, mindestens eines der folgenden Messverfahren durchzuführen: Röntgenbeugung (XRD), insbesondere in Bragg-Brentano-Geometrie, Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF), Kleinwinkelröntgenbeugung (SAXS), jeweils in Reflexion und/oder Transmission, und/oder wobei die Goniometerachse im Wesentlichen horizontal oder vertikal verläuft, und/oder wobei die Probe ein Pulver und/oder einen Kristall und/oder viele Kristalle und/oder eine Flüssigkeit aufweist, und während der Messung unbeweglich ist, und/oder wobei die Probenkammer im Wesentlichen zylinderförmig ist.

[0063] Somit sind umfassende Untersuchungen an einer Verschiedenheit von Proben ermöglicht. Damit ist zum Beispiel eine Elementanalyse bzw. eine Analyse von chemischen Verbindungen ermöglicht. Die Probenkammer, welche im Wesentlichen zylinderförmig sein kann, kann die Zylinderachse im Wesentlichen auf der Goniometerachse angeordnet haben. Damit kann die Probenkammer in einfacher Weise hergestellt werden.

[0064] Es sollte verstanden werden, dass Merkmale, welche allein oder in irgendeiner Kombination im Zusammenhang mit einer Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung, erwähnt, erläutert, bereitgestellt oder eingesetzt wurden, ebenso, individuell oder in irgendeiner Kombination, auf eine evakuierbare Probenkammer für einer Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung angewendet werden können und umgekehrt, gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0065] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine evakuierbare Probenkammer für eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung bereitgestellt. Die Probenkammer weist eine Probenkammerwand auf, die einen Probenkammerinnenraum begrenzt, innerhalb dessen die Probe in einem Probenbereich anordenbar ist, wobei die Probenkammerwand einen für die Röntgenstrahlung durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich aufweist, um zu ermöglichen, dass die Röntgenstrahlung in die Probenkammer hinein eindringen kann und in den Probenbereich unter verschiedenen Einfallswinkeln treffen kann. Die Probenkammer weist eine erste Öffnung, z.B. in einem Detektionsstrahlengang, auf, bei der die Probenkammer und ein Detektionssystem vakuumdicht verbindbar sind, insbesondere mittels eines ersten Dichtungselement aufweisenden Verbindungssystems, sodass der Detektionsstrahlengang evakuier-

bar ist. Die Probenkammer weist eine zweite Öffnung auf und insbesondere ein zweites Dichtungselement, das bei einem inneren die zweite Öffnung begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand zum Abdichten anordenbar ist. Der Durchstrahlungsbereich weist einen Öffnungswinkel von zwischen 100° bis 165°, insbesondere zwischen 120° bis 165°, ferner insbesondere zwischen 140° bis 165° auf, wobei der Durchstrahlungsbereich insbesondere als ein Segment einer Zylindermantelfläche gebildet ist.

[0066] Die Erfindung wird nun mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert. Die Erfindung ist nicht auf die illustrierten oder beschriebenen Ausführungsformen begrenzt.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0067]

Fig. 1A, 1B, 1C illustrieren in schematischer Weise eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einer Referenzkonfiguration oder Null-Konfiguration;

Fig. 2A, 2B, 2C illustrieren schematisch die in Fig. 1A, 1B, 1C illustrierte Vorrichtung in einer weiteren Konfiguration während einer Messung;

Fig. 3 illustriert schematisch in einer Schnittansicht Verbindungselemente zum Verbinden einer Basiskomponente mit der Probenkammer;

Fig. 4 illustriert schematisch in einer Schnittansicht Verbindungselemente zum Verbinden eines Detektionssystems mit einer Probenkammer, wie sie für die in Fig. 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C illustrierte Vorrichtung eingesetzt werden können.

Detaillierte Beschreibung

[0068] In Fig. 1A, 2A ist die Vorrichtung 1 zur Untersuchung einer Probe mittels Röntgenstrahlung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in Seitenansicht entlang einer x-Achse eines Koordinatensystems schematisch illustriert, in Fig. 1B, 2B ist die Vorrichtung 1 in einer Draufsicht entlang der z-Achse des Koordinatensystems und in Fig. 1C, 2C ist die Vorrichtung 1 in einer perspektivischen dreidimensionalen Darstellung schematisch illustriert, jeweils in zwei verschiedenen Messpositionen bzw. Messkonfigurationen.

[0069] Die Vorrichtung 1 umfasst ein Strahlungserzeugungssystem 2 zum Erzeugen von primärer Strahlung 3. Die Vorrichtung 1 umfasst ferner einen ersten Goniometerarm 4, an dem das Strahlungserzeugungssystem 2 montiert ist und der um eine Goniometerachse 5 verschwenkbar ist. Die Vorrichtung 1 umfasst ferner ein Detektionssystem 6, das zum Detektieren von von der Pro-

be ausgehender sekundärer Strahlung 7 ausgebildet ist. Die Vorrichtung 1 umfasst ferner einen zweiten Goniometerarm 8, an dem das Detektionssystem 6 montiert ist und der um die Goniometerachse 5 verschwenkbar ist. Die Vorrichtung 1 umfasst ferner eine evakuierbare Probenkammer 9, innerhalb derer eine Probe 10 in einem Teil der Goniometerachse umfassenden Probenbereich 11 anordenbar ist. Dabei ist die Probenkammer 9 mittels einer Probenkammerwand 12 begrenzt, wobei die Probenkammerwand 12 einen für die primäre Strahlung 3 durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich 13 aufweist, um zu ermöglichen, dass die primäre Strahlung 3 in die Probenkammer 9 hinein eindringen kann und in den Probenbereich 11 unter verschiedenen Einfallswinkeln θ_{ein} treffen kann. In der in Fig. 1A, 1B, 1C illustrierten Referenzkonfiguration oder Referenzposition bzw. Null-Position ist der Einfallswinkel $\theta_{\text{ein}}=0^\circ$, während der Einfallswinkel in der in Fig. 2A, 2B, 2C illustrierten Messkonfiguration bzw. Messposition ungleich null ist und ungefähr 45° beträgt.

[0070] Die Probenkammer 9 weist in einem Detektionsstrahlengang 14 eine erste Öffnung 15 auf, bei der die Probenkammer 9 und das Detektionssystem 6 vakuumdicht verbindbar sind, so dass der Detektionsstrahlengang 14 evakuierbar ist. Die Vorrichtung 1 weist ferner ein Verbindungssystem 16 auf, das zum lösbaren vakuumdichten insbesondere elastischen Verbinden der Probenkammer 9 mit dem Detektionssystem 6 bei der ersten Öffnung 15 ausgebildet ist.

[0071] Das Verbindungssystem 16 ist in Fig. 4 in einer Schnittansicht durch eine Y-Z-Ebene in größerem Detail illustriert. Dabei ist auf der linken Seite der Fig. 4 ein Teil der Probenkammer 9 illustriert und auf der rechten Seite ist ein Teil des Detektionssystems 6 illustriert.

[0072] Das Verbindungssystem 16 weist ein Außengewinde 19 und eine Überwurfmutter 20 auf und ein erstes Dichtungselement weist eine ringförmige Dichtung 21 aus elastischem Material auf, die mittels der Überwurfmutter 20 zur Abdichtung verpressbar ist, und zwar zwischen gegenüberliegenden Stirnflächen 22 und 23.

[0073] Die Probenkammer 9 weist die erste Öffnung 15 auf. Innerhalb der ersten Öffnung 15 ist eine Hülse 17 angeordnet. In der illustrierten Ausführungsform ist die Stirnfläche 22 eine Stirnfläche oder Flanschfläche eines Flansches 40 der Hülse 17. Die Stirnfläche 23 ist ein Teil oder ein Element, welches dem Detektionssystem 6 zugeordnet ist. Beim Verschrauben der Überwurfmutter 20 an dem Außengewinde 19 wird die Flanschfläche 22 bzw. Stirnfläche 22 der Hülse 17 gegen die ringförmige Dichtung 21 gedrückt und führt somit zu einer vakuumdichten Verbindung. Die Überwurfmutter 20 greift in eine Rückfläche des Flansches 40 der Hülse 17 ein.

[0074] Eine weitere ringförmige Dichtung 24 (zu einem ersten Dichtungselement des Verbindungssystems 16 gehörig) ist zwischen einer Innenoberfläche eines die erste Öffnung begrenzenden Bereichs der Probenkammerwand 12 und einem Außenflächenbereich 18 der Hül-

se 17 angeordnet. Die Hülse 17 ist mittels der auf das Außengewinde 19 aufgeschraubten Überwurfmutter 20 mit dem Detektionssystem 6 verbindbar.

[0075] Der Detektionsstrahlengang 14 verläuft durch die Hülse 17 hindurch, um auf ein für die sekundäre Strahlung 7 empfindliches Detektorelement 25 des Detektionssystems 6 zu treffen und dort hinsichtlich seiner Intensität registriert zu werden. Der gesamte Detektionsstrahlengang 14 sowie auch insbesondere das Detektorelement 25 des Detektionssystems sind dabei von einem Umgebungsdruck evakuiert, wie ebenfalls die gesamte Probenkammer bzw. der Innenraum der Probenkammer 9.

[0076] Der Durchstrahlungsbereich 13 hat einen Öffnungswinkel α , der zum Beispiel zwischen 0° und 165° liegen kann. Der Durchstrahlungsbereich 13 verschließt die Probenkammer 9 vakuumdicht ist jedoch für Röntgenstrahlung durchlässig, d.h. weist relativ geringe Absorption für Röntgenstrahlung auf.

[0077] Die Vorrichtung umfasst ferner eine Probenhalteraufnahme 26. Die Probenhalteraufnahme 26 kann höhenverstellbar sein, d.h. in ihrer Position entlang der Z-Achse verstellbar sein. Die Probenhalteraufnahme erlaubt, einen Probenhalter 27 zu halten, an dem bzw. auf dem eine Probe 10 montierbar oder halterbar ist.

[0078] Die Probenkammer 9 weist eine zweite Öffnung 27 auf, durch die sich eine feststehende Basiskomponente 31 und/oder die Probenhalteraufnahme 26 und/oder ein Probenhalter 27 zumindest teilweise erstreckt. Die Goniometerarme 4 und 8 sind verschwenkbar relativ zu der Basiskomponente 31, sowie auch relativ zu der Probenhalteraufnahme 26.

[0079] Fig. 3 illustriert in einer schematischen Schnittansicht eines Schnittes durch die XY-Ebene einen Teil der Probenkammer 9, welche die Probenkammerwand 12 aufweist, sowie einen Teil der Basiskomponente 31, relativ zu welcher die Probenkammer 9 verschwenkbar ist. Zwischen einem äußeren Oberflächenbereich der Basiskomponente 28 und einem inneren die zweite Öffnung 28 begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand 12 ist ein zweites Dichtungselement 29 zum Abdichten angeordnet. Das zweite Dichtungselement 29 kann zum Beispiel eine Lippendichtung aufweisen.

[0080] Ferner ist ein Lager 30 vorgesehen, das zum drehbaren Lagern der Probenkammer 9 relativ zu der Probenhalteraufnahme und/oder der feststehenden Basiskomponente 31 ausgebildet ist. Ein Probenkammerinnenraum 32 in einem Inneren der Probenkammer 9 ist evakuierbar. Das Lager 30 ist jedoch außerhalb der Probenkammer 9, d.h. außerhalb des Innenraumes 32 der Probenkammer 9 angeordnet und somit dem Umgebungsdruck ausgesetzt. Das zweite Dichtungselement 29 ist somit zwischen dem Lager 30 und dem Probenkammerinnenraum 32 angeordnet.

[0081] Ein erster Aktuator 33 (siehe Fig. 1A bis 2C) ist zum Verschwenken des Strahlungserzeugungssystems 2 mittels des ersten Goniometerarms 4 ausgebildet. Ein

zweiter Aktuator 34 ist zum Verschwenken des Detektionssystems 6 zusammen mit der damit verbundenen Probenkammer 5 mittels des zweiten Goniometerarms 8 ausgebildet. Beide Aktuatoren 33, 34 sind außerhalb der Probenkammer 9 angeordnet. Mittels des Aktuators 33 und des ersten Goniometerarms 4 ist das Strahlungserzeugungssystem 2 um bis zu zwischen 60° und $82,5^\circ$ verschwenkbar, um einen Einfallswinkel θ_{ein} in diesem Bereich nach Bedarf einstellen zu können.

[0082] Ähnlich kann das Detektionssystem 6 mittels Verschwenkens des zweiten Goniometerarms 8 (mittels des zweiten Aktuators 34) um bis zu 60° und $82,5^\circ$ verschwenkt werden, um somit einen Einfallswinkel θ_{aus} in diesem Bereich nach Bedarf einstellen zu können.

[0083] Die Probenkammer 9 und/oder das Detektionssystem 6 können einen nicht im Detail illustrierten Vakuumanschluss aufweisen, mit dem eine Vakuumpumpe verbindbar sein kann, um einen Druck von <30 mbar in dem Probenkammerinnenraum 32 zu erzeugen.

[0084] Das Detektionssystem 6 kann eine Detektionsoptik und/oder ein Filter 35 aufweisen, welches zum Beispiel in Fig. 4 illustriert ist und in Propagationsrichtung der sekundären Strahlung 7 vor dem Detektionselement 25 des Detektionssystems 6 angeordnet ist. Das Filter 35 kann somit bei dem Befestigungselement 16 angeordnet sein oder zum Beispiel auch innerhalb der Hülse 17.

[0085] Die Vorrichtung 1 weist ferner eine Steuerung 36 auf, die zur Durchführung einer Messung kommunikativ mit dem Strahlungserzeugungssystem 2, dem ersten Aktuator 33, dem Detektionssystem 6, dem zweiten Aktuator 34 und mit einer nicht illustrierten Vakuumpumpe verbunden ist, um Steuersignale zu übertragen und/oder Messsignale zu erhalten und auszuwerten.

[0086] In der illustrierten Ausführungsform verläuft die Goniometerachse 5 in horizontaler Richtung.

[0087] Die in Fig. 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C illustrierte Vorrichtung wird gemäß einem Verfahren der vorliegenden Erfindung hergestellt. Dabei wird das Strahlungserzeugungssystem 2 an dem ersten Goniometerarm 4 montiert. Ferner wird das Detektionssystem 6 an dem zweiten Goniometerarm 8 montiert. Ferner wird die evakuierbare Probenkammer 9 bereitgestellt, die einen für primäre Strahlung durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich 13 aufweist. Ferner wird die Probenkammer derart hergestellt, dass sie in einem Detektionsstrahlengang 14 eine erste Öffnung 15 aufweist, bei der die Probenkammer und das Detektionssystem insbesondere mittels des Verbindungssystems 16 vakuumdicht verbindbar sind.

[0088] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können ein oder mehrere der folgenden Merkmale aufweisen:

1. Röntgenbeugung Bragg-Brentano-Diffraktometer (XRD) mit einer Winkelgenauigkeit von $1/10000^\circ$

a. Beim Diffraktometer ist die Goniometerachse

horizontal. Es ist jedoch auch möglich das Diffraktometer mit vertikaler Goniometerachse auszuführen.

b. Es ist auch möglich das Gerät für Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) umzubauen.

2. Einheit Goniometer mit Strahlungsquelle

a. Die Strahlungsquelle befindet sich außerhalb der Vakuumkammer auf einem Goniometerarm.
b. Die Röntgenquelle dreht sich während der Messung via dem Goniometerarm. Daher besitzt die Vakuumkammer ein großes Fenster (ca. 160°) damit die Strahlung im richtigen Winkel auf die Probe treffen kann.

c. Die Röntgenquelle kann ein Cu-K(alpha) Quelle sein, das Anodenmaterial kann auch Cr, Fe, Co, Cu, Mo, Ag sein

d. Das Fenster ist aus Kunststoff oder Beryllium, wo bei Beryllium vermieden wird, da Berylliumverbindungen giftig sind.

3. Probe

a. Die Probe kann ein Pulver, Kristall oder eine Flüssigkeit in einer Kapillare sein.

b. Die Probe befindet sich in einer Vakuumkammer.

c. Die Probe ist auf dem Probenstisch auf der Position der Goniometerachse positioniert.

d. Die Probe kann zur genaueren Positionierung vor der Messung in der Höhe verstellt werden.

e. Während der Messung verändert die Probe nicht die Position.

4. Einheit Goniometer mit Detektor mit Vakuumkammer

a. Der Detektorgoniometerarm ist mit der Vakuumkammer über eine lösbare Verbindung fix verbunden. Somit sind auch der Detektor fix mit der der Vakuumkammer verbunden. Dreht sich das Detektorgoniometer, so dreht sich auch die Vakuumkammer.

b. Es gibt dadurch kein Fenster zwischen Probe und Detektor. Fenster schwächen bzw. streuen den Strahl von der Probe und erhöhen das Hintergrundsignal, dadurch verschlechtert sich das Messsignal. Fenstermaterialien, mit wenig Dämpfung sind problematisch z.B. Beryllium ist giftig.

c. Es ist die Vakuumkammer und der Detektor im selben Vakuum. Luft streut bzw. schwächt den Strahl ab, je weniger Luft, desto besser das Signal. Vakuumkammer und Detektor werden gleichzeitig evakuiert (schwaches Vakuum, 1-10 mbar).

d. Der Vakuumanschluss kann sich an der Va-

kuumkammer und/oder beim Detektor befinden.
e. Es gibt 2 Anschlüsse für das Vakuum, damit kann auch die Kammer mit Inertgas gefüllt bzw. gespült werden.

f. Die Vakuumkammer ist drehbar gelagert (Lagerdurchmesser ca. 12 cm) und das Lager ist vakuumdicht (schleifende drehbare Dichtung).

g. Da der Detektor auch im Vakuum ist, müssen die Detektoranschlüsse vakuumdicht ausgeführt sein.

h. Dadurch, dass das Goniometer auch die Vakuumkammer dreht, ist das Goniometer und der Goniometerantrieb stärker (höheres Drehmoment) ausgelegt als normal (es gibt dazu spezielle Sicherheitsmaßnahmen). Das ist auch notwendig um die notwendige Präzision zu gewährleisten.

i. Der Detektor ist an der Vakuumkammer angeflanscht. Es kann dadurch auch die Vakuumkammer entfernt werden, falls es für die Messung notwendig ist.

j. Die Flanschverbindung zwischen Detektor und Vakuumkammer ist elastisch, damit kleine Unterschiede ausgeglichen werden können.

k. Der Detektor ist ein 256 x 256 Pixel Detektor, welcher als Punktdetektor verwendet wird.

[0089] Die Vorrichtung zum Untersuchen einer Probe ist in einfacher Weise aufgebaut, und ermöglicht eine Vermessung über einen großen Winkelbereich. In dem Detektionsstrahlengang zwischen der Probe und dem Detektor müssen keine Fenster oder keine Luft vorhanden sein, damit das Signal von der Probe nicht unnötig abgeschwächt wird. Das Detektor-Goniometer kann doppelt gelagert sein, einmal über das herkömmliche Goniometerlager (ohne Dichtung) und das zweite Mal über das Lager bei der Vakuumkammer (mit drehbarer Lippendichtung). Der Detektor bzw. das Detektor-Goniometer sind mit einem Flansch miteinander verbunden, diese Verbindung ist dabei so ausgelegt, dass Toleranzen ausgeglichen werden können. Diese Verbindung ist lösbar und hat eine Vakuumdichtung, welche kleiner Bewegung ausgesetzt ist. Der Antrieb des zweiten Goniometerarms 8 ist stärker als konventionell ausgelegt, da dieser zweite Aktuator 34 auch die Probenkammer bzw. Vakuumkammer 9 mitdrehen muss.

[0090] Da sich bei der Erfindung kein Fenster zwischen Probe und Detektor befindet, kann auf den Beamstop verzichtet werden. Moderne Detektoren werden durch den auftreffenden primären Röntgenstrahl nicht geschädigt und sind teilweise in der Lage, die Primärintensität zu messen. Dies ermöglicht bessere Messergebnisse, da keine Streuung von Beamstop das Messergebnis beeinflusst.

[0091] Die vakuumdichte Probenkammer kann starr mit dem vakuumdichten Gehäuse für die Optik und dem Detektionssystem verbunden sein. Die vakuumdichte Probenkammer kann auf einer Vakuum-Drehdurchführung

(wie z.B. in Fig. 3 illustriert) gelagert sein. Die Vakuum-Drehdurchführung kann sich auf einem Montageflansch 37 (z.B. Teil der Basiskomponente 31, siehe Fig. 3) befinden, der so angeordnet ist, dass die Vakuum-Drehdurchführung konzentrisch zur Goniometerachse 5 angeordnet ist.

[0092] Wird der Verschwenkungswinkel des Detektionssystems 6 verändert (Veränderung von θ_{aus}), dann dreht sich die vakuumdichte Probenkammer 9 mit. Der Durchstrahlungsbereich bzw. das Eintrittsfenster 13 an der Probenkammer 9 kann zum Beispiel einen möglichst großen Winkelbereich abdecken, damit der vermessbare Winkelbereich nicht eingeschränkt wird. In dem Detektionsstrahlengang 14, welcher durch die erste Öffnung 15 der Probenkammer verläuft, ist das Befestigungssystem 16 vorgesehen, um die vakuumdichte Probenkammer 9 mit dem vakuumdichten Optikgehäuse des Detektionssystems 6 vor der Optik zu verbinden. Somit ist gewährleistet, dass sich hinter der Probe, die sich an der Achse des Röntgen-Diffraktometers befindet, kein Fenster oder eine Luftstrecke befindet. In dem Befestigungssystem 16 bzw. dem Befestigungselement kann auch optional ein Filter 35 integriert werden, um beispielsweise mittels Nickel-Folie die K β -Strahlung bei einer Kupferröntgenquelle zu unterdrücken bzw. abzuschwächen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Untersuchung einer Probe (10) mittels Röntgenstrahlung, aufweisend:

ein Strahlungserzeugungssystem (2) zum Erzeugen von primärer Strahlung (3);
einen ersten Goniometerarm (4), an dem das Strahlungserzeugungssystem (2) montiert ist und der um eine Goniometerachse (5) verschwenkbar ist;
ein Detektionssystem (6), das zum Detektieren von von der Probe ausgehender sekundärer Strahlung (7) ausgebildet ist;
einen zweiten Goniometerarm (8), an dem das Detektionssystem (6) montiert ist und der um die Goniometerachse (5) verschwenkbar ist;
eine evakuierbare Probenkammer (9), innerhalb derer die Probe (10) in einem einen Teil der Goniometerachse umfassenden Probenbereich (11) anordenbar ist, wobei die Probenkammer (9) mittels einer Probenkammerwand (12) begrenzt ist, die einen für die primäre Strahlung (3) durchlässigen und vakuumdichten Durchstrahlungsbereich (13) aufweist, um zu ermöglichen, dass die primäre Strahlung (3) in die Probenkammer (9) hinein eindringen kann und in den Probenbereich (11) unter verschiedenen Einfallswinkeln (θ_{ein}) treffen kann;
wobei die Probenkammer (9) in einem Detektionsstrahlengang (14) eine erste Öffnung (15)

aufweist, bei der die Probenkammer (9) und das Detektionssystem (6) vakuumdicht verbindbar sind, sodass der Detektionsstrahlengang (14) evakuierbar ist.

2. Vorrichtung gemäß dem vorangehenden Anspruch, ferner aufweisend:
ein Verbindungssystem (16), das zum lösbaren vakuumdichten, insbesondere elastischen oder starren, Verbinden der Probenkammer (9) mit dem Detektionssystem (6) bei der ersten Öffnung (15) ausgebildet ist,

wobei das Verbindungssystem zumindest ein erstes Dichtungselement (21, 24) aufweist, wobei die erste Öffnung (15) insbesondere kreisförmig oder rechteckig ist.

3. Vorrichtung gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei das Verbindungssystem (16) ein Außengewinde (19) und eine Überwurfmutter (20) aufweist, wobei das zumindest eine erste Dichtungselement eine ringförmige Dichtung (21) aus elastischem Material aufweist, die mittels der Überwurfmutter (20) zur Abdichtung verpressbar ist, insbesondere zwischen gegenüberliegenden Stirnflächen (22, 23).

4. Vorrichtung gemäß einem der zwei vorangehenden Ansprüche, wobei das Verbindungssystem (16) eine Hülse (17) aufweist, die innerhalb der ersten Öffnung (15) angeordnet ist, wobei das zumindest eine erste Dichtungselement eine weitere ringförmige Dichtung (24) aus elastischem Material aufweist, die zwischen einer Innenoberfläche eines die erste Öffnung begrenzenden Bereichs der Probenkammerwand (12) und einem Außenflächenbereich der Hülse (17) angeordnet ist, wobei die Hülse (17) insbesondere mittels der auf das Außengewinde (19) aufgeschraubten Überwurfmutter (20) mit dem Detektionssystem (6) verbunden ist.

5. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

wobei der Durchstrahlungsbereich (13) einen Öffnungswinkel von zwischen 0° bis 165° , insbesondere zwischen 100° bis 165° , ferner insbesondere zwischen 120° bis 165° , noch ferner insbesondere zwischen 140° bis 165° aufweist und/oder
wobei der Durchstrahlungsbereich (13) aus Röntgenstrahlung durchlässigem Material, insbesondere Kunststoff und/oder Beryllium und/oder Leichtmetall und/oder Graphit und/oder Aluminium aufweisend, ausgebildet ist,

wobei der Durchstrahlungsbereich (13) insbesondere als ein Segment einer Zylindermantelfläche gebildet ist, wobei eine Zylindersymmetrieachse im Wesentlichen in der Goniometerachse (5) liegt.

6. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner zumindest eines der Folgenden aufweisend:

eine Probenhalteraufnahme (26), insbesondere höhenverstellbar, die ausgebildet ist, einen Probenhalter aufzunehmen; und/oder einen Probenhalter (27), insbesondere höhenverstellbar, der mittels der Probenhalteraufnahme oder einer feststehenden Basiskomponente halterbar ist und der ausgebildet und angeordnet ist, um die Probe in dem Probenbereich (11) zu halten.

7. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

wobei die Probenkammer (9) eine zweite Öffnung (28) aufweist, durch die sich eine feststehende Basiskomponente (31) und/oder die Probenhalteraufnahme (26) und/oder der Probenhalter (27) zumindest teilweise erstreckt, wobei die Vorrichtung ferner zumindest ein zweites Dichtungselement (29), insbesondere ringförmig, aus elastischem Material aufweist, das zwischen einem äußeren Oberflächenbereich der Basiskomponente (31) und/oder der Probenhalteraufnahme und/oder des Probenhalters und einem inneren die zweite Öffnung begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand zum Abdichten angeordnet ist,

wobei die Probenkammer insbesondere abnehmbar ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die ringförmige Dichtung (21) und/oder die weitere ringförmige Dichtung (24) des zumindest einen ersten Dichtungselements und/oder das zweite Dichtungselement (29) konzentrisch angeordnet und kreisförmig ist und/oder zumindest eines der Folgenden aufweist:

eine Lippendichtung,
einen O-Ring,
eine Wellendichtung,
einen Gleitring.

9. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:
ein Lager (30), das zum drehbaren Lagern der Probenkammer (9) relativ zu der Probenhalteraufnahme und/oder Probenhalter und/oder einer feststehen-

den Basiskomponente (31) ausgebildet ist,

wobei das Lager insbesondere außerhalb der Probenkammer dem Umgebungsdruck ausgesetzt ist,

insbesondere wobei das zweite Dichtungselement (29) zwischen dem Lager (30) und einem Probenkammerinnenraum (32) angeordnet ist.

10. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:

einen ersten Aktuator (33), der zum Verschwenken des Strahlungserzeugungssystems (2) mittels des ersten Goniometerarms (4) ausgebildet ist;

einen zweiten Aktuator (34), der zum Verschwenken des Detektionssystems (6) zusammen mit der damit verbundenen Probenkammer (9) mittels des zweiten Goniometerarms (8) ausgebildet ist,

wobei der erste Aktuator und/oder der zweite Aktuator außerhalb der Probenkammer angeordnet ist.

11. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

wobei das Strahlungserzeugungssystem (2) mittels Verschwenkens des ersten Goniometerarms (4) um bis zu zwischen 60° und 82,5°, insbesondere bis zu zwischen 70° und 82,5°, aus einer Nullposition (0°) verschwenkbar ist und/oder

wobei das Detektionssystem (6) mittels Verschwenkens des zweiten Goniometerarms (8) um bis zu zwischen 60° und 82,5°, insbesondere bis zu 70° und 82,5°, aus einer Nullposition (0°) entgegengesetzt zu einer Verschwenkungsrichtung des Strahlungserzeugungssystems verschwenkbar ist;

und/oder

wobei das Strahlungserzeugungssystem (2) außerhalb der Probenkammer angeordnet ist und Umgebungsdruck ausgesetzt ist, und/oder

wobei das Strahlungserzeugungssystem (2) eine Strahlungsquelle und eine Optik aufweist, um die primäre Strahlung mit vorbestimmtem Wellenlängenbereich und/oder vorbestimmter Querschnittsgröße zu erzeugen.

12. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:

mindestens einen Vakuumananschluss an der Probenkammer und/oder an dem Detektionssystem;

mindestens eine Vakuumpumpe, die ausgebil-

det ist, einen Druck von kleiner als 30 mbar innerhalb der Probenkammer und/oder dem Detektionsstrahlengang zu erzeugen;

und/oder

wobei das Detektionssystem (6) eine Detektionsoptik und/oder ein Filter (35) und einen Detektor (25) umfasst,

wobei das Filter (35) in dem Detektionsstrahlengang (14) angeordnet ist, insbesondere bei der ersten Öffnung (15) und/oder dem Befestigungselement (16).

13. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Detektor (25) des Detektionssystems (6) ein zweidimensionales oder dreidimensionales Feld von Detektorelementen aufweist, die als Punktdetektionssystem oder Zeilendetektionssystem verwendet werden;

und/oder

wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung (36) aufweist, die zur Durchführung einer Messung kommunikativ mit dem Strahlungserzeugungssystem und/oder dem ersten Aktuator und/oder dem Detektionssystem und/oder dem zweiten Aktuator und/oder der Vakuumpumpe verbunden ist, um Steuersignale zu übertragen und/oder Messsignale zu erhalten.

14. Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist, mindestens eines der folgenden Messverfahren durchzuführen:

Röntgenbeugung (XRD), insbesondere in Bragg-Brentano-Geometrie, Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF), Kleinwinkelröntgenbeugung (SAXS), jeweils in Reflexion und/oder Transmission, und/oder

wobei die Goniometerachse (5) im Wesentlichen horizontal oder vertikal verläuft, und/oder wobei die Probe (10) ein Pulver und/oder einen Kristall und/oder viele Kristalle und/oder eine Flüssigkeit aufweist, und während der Messung unbeweglich ist, und/oder

wobei die Probenkammer (9) im Wesentlichen zylinderförmig ist.

15. Evakuierbare Probenkammer (9) für eine Vorrichtung (1) zur Untersuchung einer Probe (10) mittels Röntgenstrahlung, aufweisend:

eine Probenkammerwand (12), die einen Probenkammerinnenraum (32) begrenzt, innerhalb dessen die Probe (10) in einem Probenbereich (11) anordenbar ist, wobei die Probenkammerwand (12) einen für die Röntgenstrahlung (3) durchlässigen und vakuumdichten Durchstrah-

lungsbereich (13) aufweist, um zu ermöglichen, dass die Röntgenstrahlung (3) in die Probenkammer (9) hinein eindringen kann und in den Probenbereich (11) unter verschiedenen Einfallswinkeln (θ_{ein}) treffen kann; 5
eine erste Öffnung (15) in einem Detektionsstrahlengang (14), bei der die Probenkammer (9) und ein Detektionssystem (6) vakuumdicht verbindbar sind, insbesondere mittels eines ersten Dichtungselement (21, 24) aufweisenden 10
Verbindungssystems (16), sodass der Detektionsstrahlengang (14) evakuierbar ist;
eine zweite Öffnung (28);
insbesondere ein zweites Dichtungselement 15
(29), das bei einem inneren die zweite Öffnung begrenzenden Oberflächenbereich der Probenkammerwand zum Abdichten anordenbar ist, wobei der Durchstrahlungsbereich (13) einen Öffnungswinkel von zwischen 100° bis 165° , insbesondere zwischen 120° bis 165° , ferner 20
insbesondere zwischen 140° bis 165° aufweist, wobei der Durchstrahlungsbereich (13) insbesondere als ein Segment einer Zylindermantelfläche gebildet ist.

25

30

35

40

45

50

55

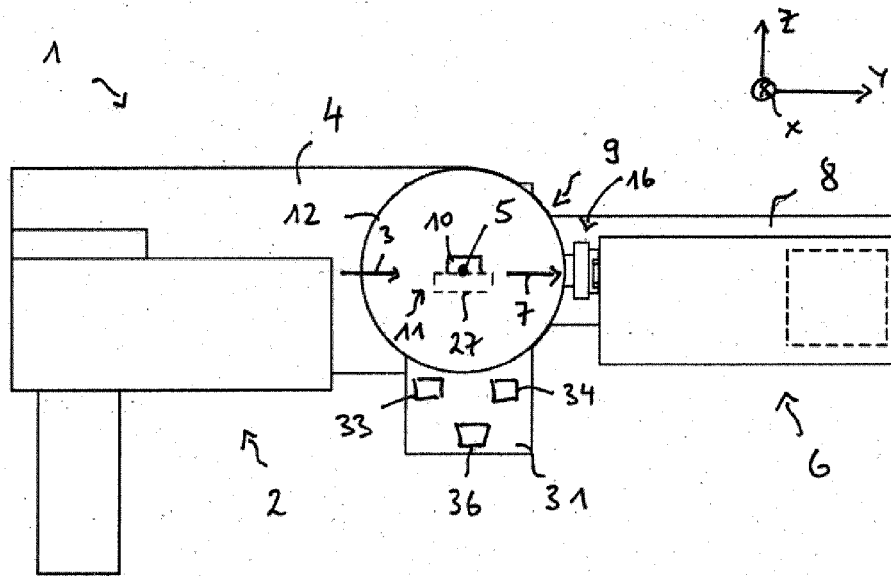


Fig. 1A

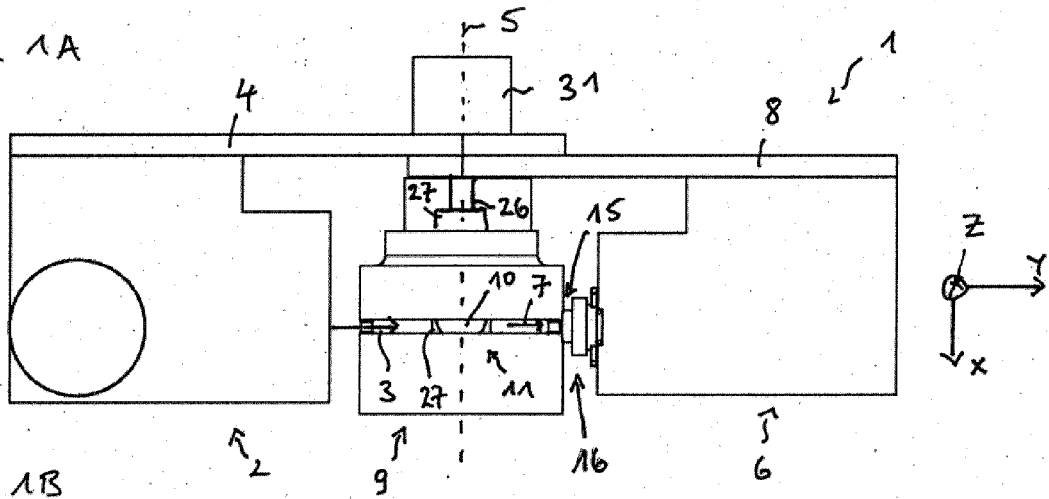


Fig. 1B

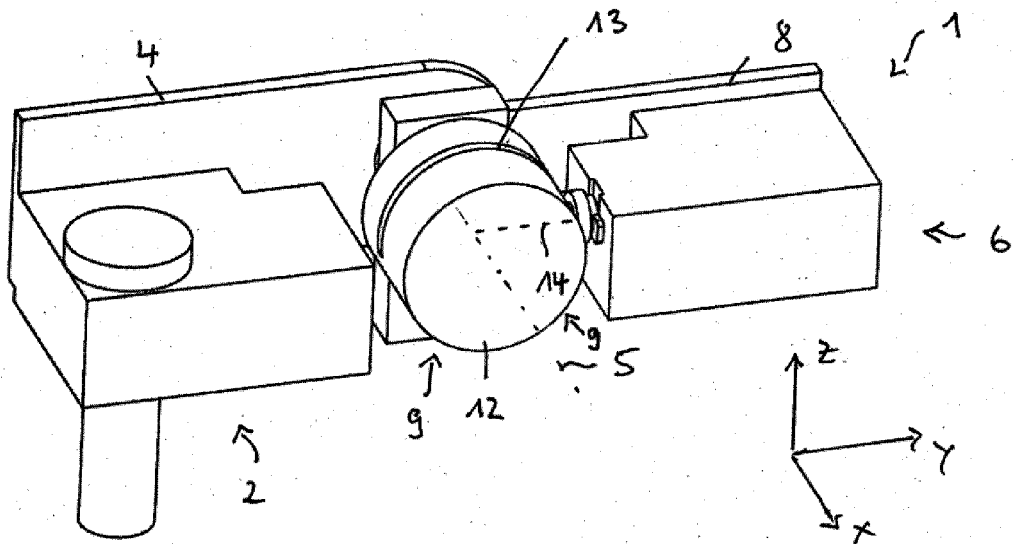


Fig. 1C

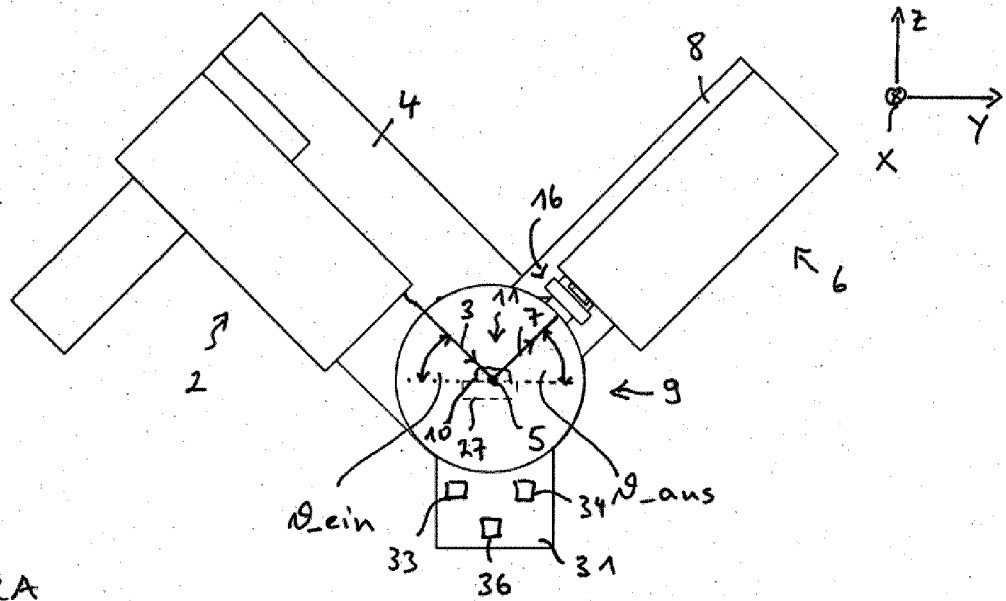


Fig. 2A

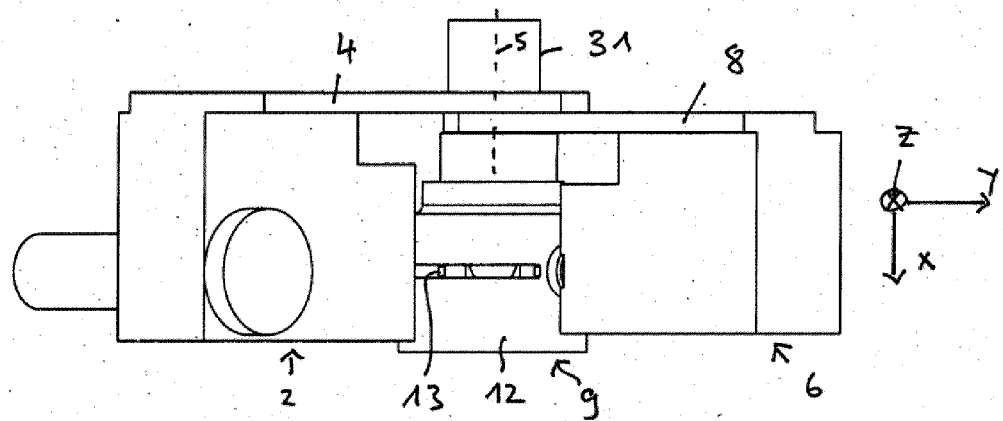


Fig. 2B

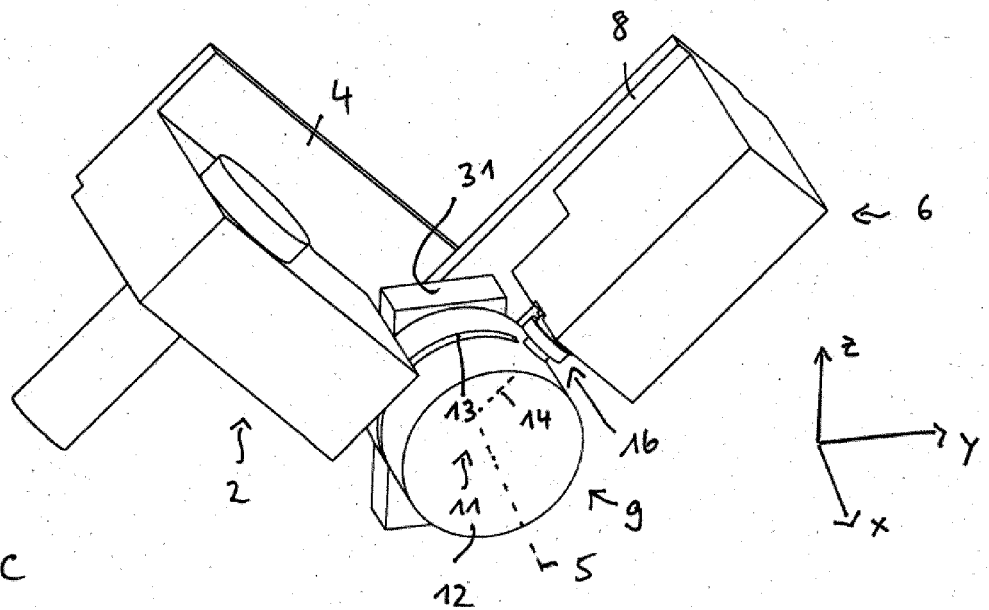


Fig. 2C

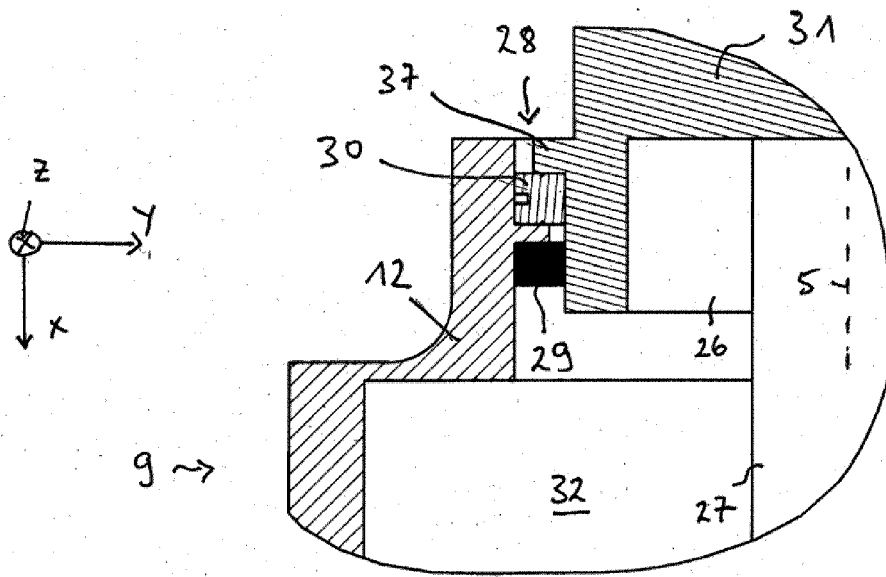


Fig. 3

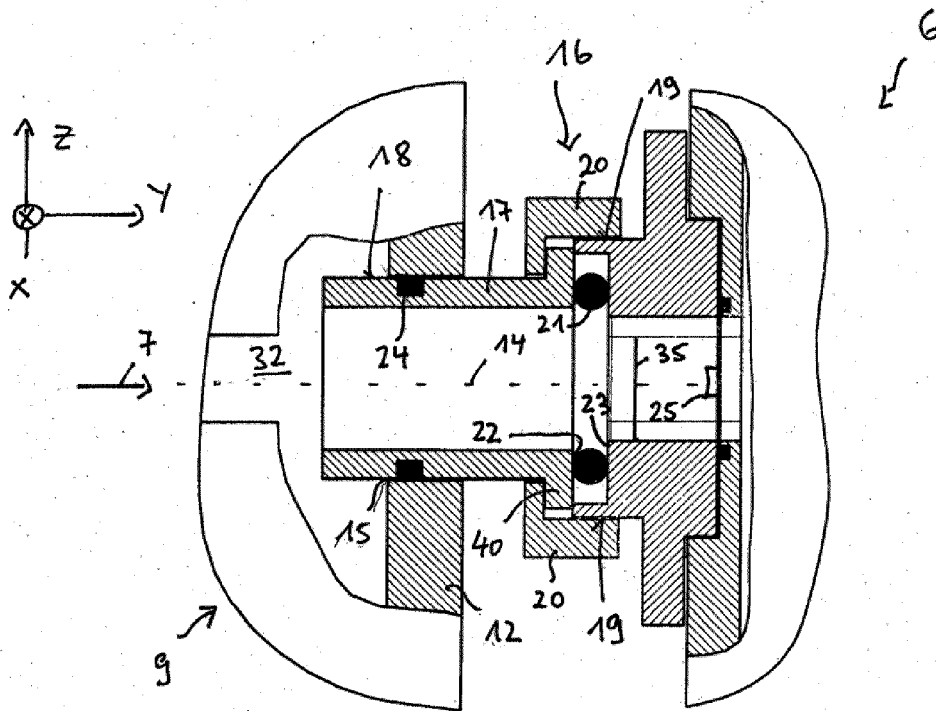


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 17 5465

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 01/46677 A2 (MAX PLANCK GESELLSCHAFT [DE]; BESTEC GMBH [DE] ET AL.) 28. Juni 2001 (2001-06-28)	1-8, 10-14	INV. G01N23/207 G01N23/20025
A	* Seite 7; Abbildungen 1-4 * -----	9,15	
A	JP H03 216539 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 24. September 1991 (1991-09-24) * Abbildung 1 *	15	
A	US 3 105 902 A (BERNARD OSTROFSKY ET AL) 1. Oktober 1963 (1963-10-01) * Abbildungen 1,2 * -----	1,15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G01N
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		20. September 2022	Steinmetz, Johannes
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	



Nummer der Anmeldung

EP 22 17 5465

5

GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

10

- ☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

15

- ☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

20

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

25

Siehe Ergänzungsblatt B

30

- ☐ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

35

- ☒ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

- ☐ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

40

45

- ☐ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

50

55

- ☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 22 17 5465

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1-15

Goniometer-Vorrichtung

1.1. Anspruch: 15

Probenkammer

Bitte zu beachten dass für alle unter Punkt 1 aufgeführten Erfindungen, obwohl diese nicht unbedingt durch ein gemeinsames erfinderisches Konzept verbunden sind, ohne Mehraufwand der eine zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, eine vollständige Recherche durchgeführt werden konnte.

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 17 5465

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-09-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 0146677	A2	28-06-2001	DE 19962198 A1		12-07-2001
				EP 1240505 A2		18-09-2002
15				WO 0146677 A2		28-06-2001

	JP H03216539	A	24-09-1991	KEINE		

	US 3105902	A	01-10-1963	KEINE		
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 4263510 A [0003]
- US 20170356862 A1 [0004]